

ROBOT AUTÓNOMO ESPECIAL MFI-MR, EN EL MARCO DE SISTEMAS GLOBALES DE GESTIÓN DE LA CALIDAD Y ENTORNOS DE COLABORACIÓN ENTRE PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS

SPECIAL AUTONOMOUS ROBOT MFI-MR, UNDER GLOBAL QUALITY ASSURANCE SYSTEMS AND COLLABORATION BETWEEN SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES ENVIRONMENTS

Numan Durakbasa

Vienna University of Technology/ Interchangeable Manufacturing and Metrology, Vienna, Austria

durakbasa@mail.ift.tuwien.ac

Jorge Bauer

Vienna University of Technology/ Interchangeable Manufacturing and Metrology, Vienna, Austria

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Buenos Aires, Argentina

jbauer@doc.frba.utn.edu.ar

Claudio Verrastro

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Buenos Aires, Argentina

cverra01@yahoo.com.ar

David Riepl

Vienna University of Technology/ Interchangeable Manufacturing and Metrology, Vienna, Austria

yodave@gmx.net

Eugenio Ferradás

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Buenos Aires, Argentina

eugenio_011@hotmail.com

RESUMEN: La importancia económico-social de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) es hoy ampliamente aceptada. Satisfacer las cambiantes necesidades de los clientes, armar organizaciones rentables teniendo en cuenta la importancia de la gestión de la calidad y la metrología, se potencia exponencialmente con el uso sistemático de las tecnologías de inteligencia artificial, la robótica y la informática industrial. El concepto innovador, llamado “*Multi-Function Integrated Factory*” MFIF (Fabricas Multifunción Integradas) permite una producción industrial ágil y optimizada, especialmente en un entorno de PYMES tecnológicas, que construyen bajo una concepción de trabajo inter-empresa en la aldea global. El presente trabajo aporta desarrollos en el campo de sistemas de aseguramiento de la calidad inteligente en industrias del tipo MFIF, y en muestra la posibilidades de una unidad robótica

tipo MFI-MR" (*Multi Function Intelligent Measure Robot*), como célula de medición inteligente autónoma, recopilando y evaluando datos con SCP-CEP (SPC-CEP: *Statistical Process Control* - Control Estadístico de Procesos), potenciando el vínculo cluster y la telepresencia.

Palabras clave: Ingeniería de Calidad. Metrología. PYMES. Telepresencia. Robots Autónomos.

ABSTRACT: The economic and social importance of small and medium enterprises (SMEs) is today widely accepted. The satisfaction of the changing needs of the clients, construction of profitable organizations taking into account the importance of quality management and metrology are multiplied exponentially with the systematic use of artificial intelligence, robotics and industrial informatics technologies. The innovative concept called "*Multi-Function Integrated Factory*" MFIF allows an agile and optimized industrial production, especially in technologic SMEs environment, that produce in the global village. The present study provides developments in the field of intelligent quality assurance systems in MFIF type industries and shows the possibilities of a robotic unit such as MFI-MR, as an intelligent measurement autonomous cell collecting and evaluating data with SCP (SPC: *Statistical Process Control*), strengthening the inner cluster bond and telepresence.

Keywords: Quality Engineering. Metrology. SMEs. Telepresence. Autonomous Robots.

1 INTRODUCCIÓN

La Ingeniería de Fabricación se enfrenta actualmente, y seguirá seguramente enfrentada en el futuro a muy importantes retos en la sociedad de la información.

Con el fin de mejorar la competitividad de su producción industrial, incorporar automatización-autonomación de la producción y de la metrología, y poder satisfacer las demandas del alto nivel de vida y de confort creciente que piden los consumidores, hoy y seguramente también en el futuro próximo, las plantas industriales deben ser cada vez más flexibles y lo suficientemente ágiles como para responder con rapidez a los cambios en la demanda del producto.

Con las modernas tecnologías de la información es posible realizar diseños y producción rentables bajo el impulso directo de las necesidades dinámicas de los clientes. Ésta tarea se potencia aplicando el innovador concepto del modelo MFIF (OSANANA; SI, 2000) que posibilita la producción industrial ágil y eficaz - eficiente. En esta concepción de organización industrial, la aplicación de criterios de flexibilidad en la producción, automatización y robótica deja de estar circunscripto a un esquema Interno en fábrica para pasar a ser del tipo Inter-fábrica en un entorno de red global. Este nuevo paradigma incluye la interconexión de las diversas fábricas geográficamente independientes, que interactúan en forma estrecha compartiendo recursos, en un esquema retroalimentado de fuerte dinamismo.

2 LA IMPORTANCIA MUNDIAL DE LAS PYMES

La importancia de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) está hoy fuera de discusión en todos los países del mundo, sea como proveedores de la industria o productores de bienes para los consumidores finales. Nuevos modelos y configuraciones alternativas de futuras organizaciones industriales, que superen y potencien los actualmente normalmente difundidos, aun deben ser perfeccionados, sobre todo para los entornos de las PYMES.

Estos nuevos modelos se pueden seguir desarrollando sobre la base de tecnologías de producción inteligente, un amplio uso de *Internet*, Tecnología de computación distribuida, DCE (*Distributed Computing Environment*), Procesamiento en paralelo de datos de ingeniería y avanzadas técnicas de intercambio de información (OSANNA; SI, 2000).

De esta manera las asociaciones de fábricas de competitividad mundial, como también las PYMES en un esquema de colaboración, con funciones inteligentes, asociativas, concurrentes, interactivas, modulares, integradas, de aprendizaje permanente, autónomas y de auto- optimización ya están en fase de desarrollo creciente, y es fácil predecir que la aplicación en todo el mundo de este esquema de asociaciones y cooperación será una situación cada día mas normal en un futuro próximo.

3 COOPERACIÓN Y COLABORACIÓN EN LAS MODERNAS INSTALACIONES INDUSTRIALES

Multi-Function Integrated Factory MFIF es un concepto innovador y un modelo para futuras empresas en un esquema colaborativo, que tiene el objetivo de generar formas de producción eficientes (costo-efectivas), en un entorno ágil y óptimo para fabricar productos multifuncionales MFPs, impulsados directamente por el cliente (Figura 1).

Por medio de tecnología de la información y la inteligencia artificial, las fábricas que producen, por ejemplo, coches, aviones y barcos respectivamente, podrían estar vinculadas para formar un nuevo tipo de asociación con las tres funciones, compartiendo recursos de acuerdo a las necesidades de situaciones concretas.

El producto MFP se produce de tal manera que las diferentes tareas de cada producto, debe ser realizada en la fábrica específica, (gran empresa o PYME), más adecuada, para luego ser ensamblado e integrado y concretar la funcionalidad requerida por combinación de las sub-funciones.

La colaboración opera utilizando las ventajas de las múltiples capacidades disponibles, y produce alta eficiencia y agilidad en el esquema de bajos costos y alta calidad de productos multifuncionales MFPs orientados al cliente (SI; OSANNA, 1995).

Tal colaboración MFIF entre PYMES, lleva implícito el potencial para mejorar la competitividad industrial del *cluster* en sus partes y como un todo. Además, un uso intensivo de la automatización-autonomación de la fabricación y la producción optimizada de *MFPs* se vuelve cada día más accesible a organizaciones más pequeñas y de menor capital societario por lo que vemos que se incrementa en todo el mundo.

Los sistemas inteligentes de fabricación (IMS) son la base para la realización de tal tipo de estructura y entorno de colaboración, en la cual las empresas y PYMES, están funcionalmente y en sus configuraciones integradas con otras unidades productivas en la aldea global, para producir e integrar sus respectivos MFPs.

Este nuevo concepto de colaboraciones entre PYMES en el esquema MFIF, se multiplicará en el futuro próximo y su implementación se producirá paso a paso en forma incremental. Una de las características del MFIF, es el diseño inter-empresa y el uso de equipos de producción-control distribuidos en el *cluster*, de forma que los que equipos de ingeniería pequeños o ingenieros individuales de las PYMES con diferentes habilidades y experiencia de trabajo, generan juntos en un proyecto MFP en simultáneo, de forma interactiva como tarea concurrente.

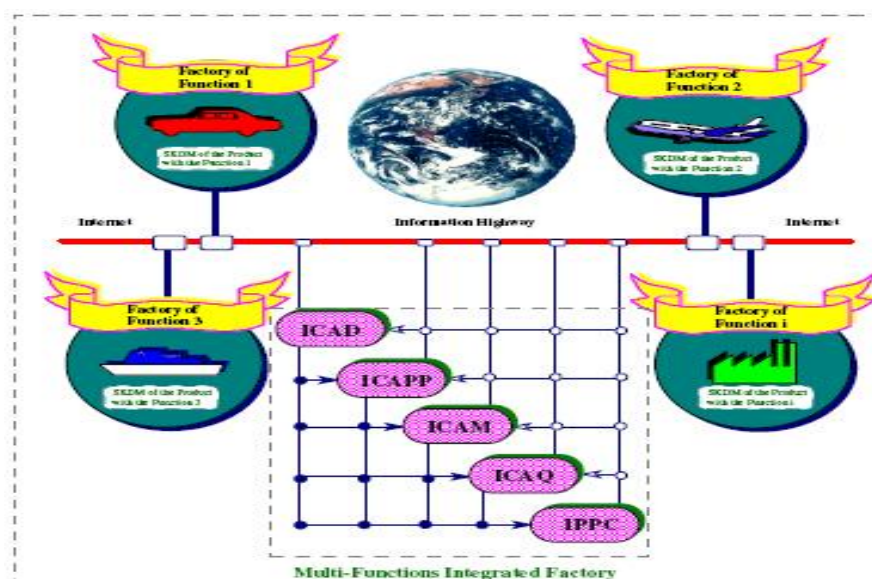


Figura 1 – Integración inteligente y automatizada del aseguramiento de la calidad (ICAQ) con Computación Inteligente de asistencia Metrología (ICAM) en el modelo de MFIF y la colaboración de las PYMES, respectivamente.

Un sistema como el descrito, se basa en el supuesto de que cada fábrica (PYME), tiene generado un entorno de IMS local de trabajo y una integración con maquinaria de

fabricación inteligentes, células y sistemas de fabricación flexible y otras condiciones para que el modelo organizacional pueda materializarse y operar adecuadamente.

Las actividades de cooperación entre todas las unidades del sistema pueden y deben ser realizadas en forma concurrente es decir en simultáneo en tiempo real.

El aprendizaje necesario para operar en este concepto, se genera paso a paso, en un esquema evolutivo y se regirá por los conceptos de “optimizar el control del proceso” y de la “mejora continua”.

La autopista informática global permite que todos los conocimientos y sistematización que intervienen en el diseño-fabricación (SKDM) en cada módulo del sistema y toda la información entre los nodos de producción ICA'x de la red MFIF, se intercambien de forma simultánea en tiempo real compartiendo información y instrucciones de distinto tipo, dirigidas a personas o equipamiento de automatización robótica de la red MFIF.

Un intercambio simultáneo de información sobre la producción y los datos, el procesamiento concurrente y ejecución de los procesos productivos a través de entorno de computación distribuida (DCE), como así también el aprendizaje de los RRHH en todo los niveles para operar en los procesos de producción colaborativa, son también características de los sistemas mundiales y como tales también lo son en entornos MFIF - PYMES.

4 GESTIÓN DE LA CALIDAD Y METROLOGÍA EN TAREAS DE DISEÑO Y PRODUCCIÓN

4.1 El Apoyo de la Inteligencia Artificial

El proceso de aseguramiento de la calidad se llevará a cabo simultáneamente en todas las etapas de realización del producto en cada fábrica MFIF, desde el proceso de diseño hasta el montaje final del conjunto integrado.

Para incrementar el aseguramiento de calidad inteligente y para hacer frente a los complejos, variables y dinámicos problemas de control de calidad de los procesos de producción en el entorno propuesto, el sistema de aseguramiento de la calidad establecido, deberá verse reforzado fuertemente por procesos de auto-optimización, en todo el esquema, ampliándose sistemáticamente el vínculo retroalimentado entre diseño y producción. El proceso de montaje es el paso final para la fabricación de productos MFPs en dicho entorno.

Este proceso se llevará a cabo en una de las PYME o fábricas que se encuentre cercanas a los clientes. Las zonas de acoplamiento de las piezas de diferentes productos MFPs serán concebidas para garantizar la facilidad de montaje, y a la vez tener la posibilidad de ser fácilmente combinadas y colocadas en diferentes conjuntos.

Al llevar a cabo actividades de gestión de calidad y aseguramiento de la calidad en todas las etapas de fabricación - desde el diseño hasta el montaje – se puede llegar a lograr prescindir de los controles finales y garantía de calidad para productos MFPs completos o volverá muy reducido el tiempo necesario para la realización de esas tareas.

4.2 Entrelazando la Gestión de la Calidad en el Diseño Inteligente y las Fases de Producción

En estructuras del tipo MFIF, las tareas de diseño de productos MFPs se deben realizar de forma inteligente, de forma interactiva y concurrente, en un modelo de entrelazamiento creciente.

El intercambio de datos para aseguramiento de la calidad diseño del producto MFPs, puede garantizarse mediante el uso de las siguientes sub-tecnologías.

Sistemas distribuidos de diseño se utilizaran para el diseño de productos multifuncionales (MFPs) y la garantía de calidad de diseño. Con el uso de tecnologías de DCE y procesamiento en paralelo, los ingenieros y los expertos pueden trabajar en partes, en sub-tareas de diseño, manteniendo el contenido de diseño en su conjunto como un recurso corporativo, administrado y asegurado como tal. Este sistema hace posible que los diseñadores de productos de las diferentes plantas PYMES, pueden trabajar en paralelo en todas las sub-tareas del producto.

El método de trabajo colaborativo en el entorno MFIF tiene el objetivo de realizar no sólo la función de intercambio electrónico de datos, sino apunta fundamentalmente a lograr una relación interactiva de trabajo en línea y de equipo, para trabajar en los diferentes lugares geográficos y sistemas heterogéneos que se relacionan a un mismo modelo de producto.

La transmisión de textos, dibujos y sonidos por medio de multimedia, se integrarán en tales sistemas interactivos de CAD y podrán reconocer dibujos manuales, aprender del proceso de diseño del producto, incluso entender la palabra en lengua natural para integrarla al diseño, optimizar el proceso de diseño y la propia calidad del diseño como fase. El uso eficaz de sistemas de cálculo, análisis, simulación y herramientas de visualización ofrece múltiples ventajas en el diseño y el aseguramiento de la calidad en las fases de diseño, de productos MFPs.

En este sistema, los diseñadores de las distintas empresas individuales aplican procesamiento en paralelo, realidad virtual y las tecnologías de prototipado rápido, para diseñar y simular productos MPF orientados al cliente y aportando a la red MFIF las actividades sistemáticas de sus funciones específicas, así como también para crear las

condiciones una producción totalmente digital y programas para el proceso de fabricación en cada una de sus partes.

5 METROLOGÍA Y GESTIÓN DE LA CALIDAD EN LA FÁBRICA GLOBAL

5.1 Metrología y Aseguramiento de la Calidad Inteligente

En el entorno de fabricación descripto, el sistema computarizado integrado inteligente y el sistema inteligente de aseguramiento de la calidad ICAQ, se combina con metrología inteligente sobre la base de máquinas-celdas de medir por coordenadas ICM, y se utiliza para controlar el sub-producto o escanear y digitalizar modelos complejos de productos con superficies de forma y geometría libre (DURAKBASA; OSANNA, 2002).

El objetivo es obtener el modelo digital del producto y modificarlo en el entorno del sistema ICAD, de forma de poder crear luego un nuevo modelo modificado de las superficies y los programas de CNC para la fabricación del producto final por el centro de mecanizado apropiado.

La metrología de coordenadas inteligente, es una herramienta muy importante para resolver los diversos problemas de gestión de calidad y aseguramiento de la calidad en la producción de MFP sobre todo cuando buscamos simultáneamente una gran flexibilidad y se exigen altas precisiones geométricas en los sub-componentes.

Esta manera de resolver las tareas de metrología es el moderno método de medición, para resolver complejos problemas de medición geométrica de forma y/o variables dimensionales.

Las Figuras 2 y 3 ilustran una aplicación no convencional de metrología por coordenadas inteligente para apoyar la mejora y optimización en la producción de instrumentos musicales. Esta es una tarea típica de la metrología y de fabricación en una empresa pequeña. La figura 2 muestra el esquema de la pieza mecánica en contacto con la boca del músico que se integran en un clarinete, mientras que la Figura 3 se muestra elementos de la medición y evaluación de una pieza (FU; RAJA, 2000).

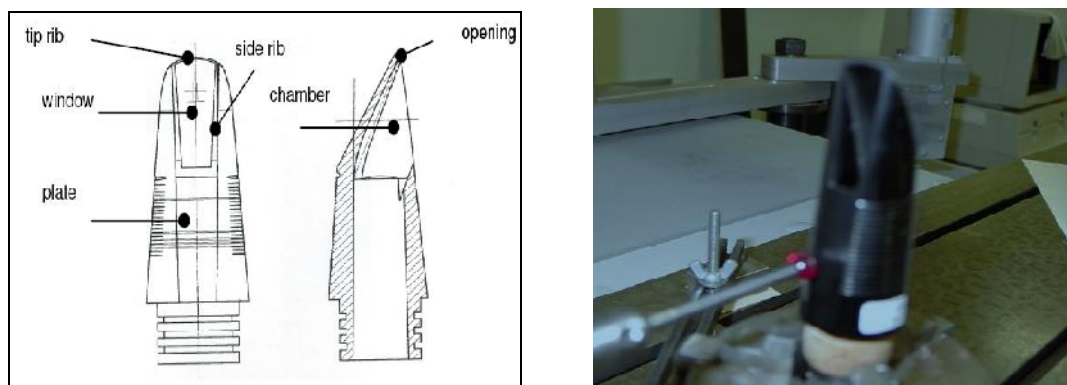


Figura 2 – Boquilla de un clarinete, vista esquemática

El sonido correcto de instrumento, depende de la forma exacta, definida en este caso en forma numérica, de las costillas de laterales y la costilla primaria de la boquilla.

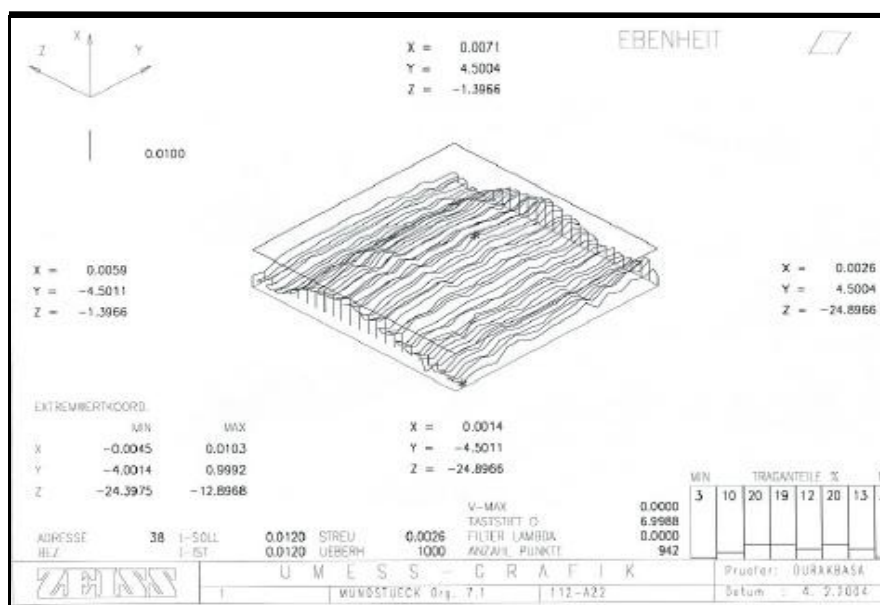


Figura 3 – Medición y evaluación de la boquilla de un clarinete, topografía superficial.

La necesidad mundial de productos MFPs flexibles orientados al cliente, impulsa a la configuración, articulación y crecimiento sistemático del sistema global y concurrente de aseguramiento de calidad, apoyado y soportado por *Internet-Intranet* y la tecnología de procesamiento paralelo computarizado.

Internet permite ya el establecimiento de un sistema global de aseguramiento de la calidad, vía la famosa autopista informática, de forma de potenciar el intercambio de datos en el entorno global entre PYMES– MFIF y para interactuar con los proveedores y clientes de todo el mundo.

5.2 Aplicación de la Metrología No Convencional

Además la metrología por coordenadas, los modernos métodos opto-electrónicos son importantes instrumentos de metrología para las plantas del sistema de producción integrado y también herramientas básicas para la gestión de la calidad global y las actividades de garantía de calidad. Su uso eficiente y correcta calibración-referenciación son requisitos fundamentales para la gestión de la calidad en este entorno.

En instrumental mecánico especial y en particular la ingeniería de precisión se observan tolerancias de diseño-fabricación y variabilidad admisible cada vez menores. La fuerte demanda de alta precisión actual ya se puede percibir inclusive en los equipos de producción masiva desarrollados para el uso diario, por ejemplo en reproductores de video o reproductores de DVD y en la técnica de sensores del automóvil o incluso en los aparatos de uso doméstico cuando pensamos en grifos de mezcla de agua caliente/fría de accionamiento con una sola mano. En este último caso podemos apreciar como las formas geométricas de las piezas sub-componente, demanda tolerancias cada día menores (ultra precisión).

6 PROPUESTA PARA UN SISTEMA INTELIGENTE DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Para la automatización inteligente y flexible de las tareas de gestión y aseguramiento de la calidad, la recopilación de datos y la evaluación de cada empresa – unidad productiva autónoma integrada en el sistema propuesto deberá estar dotada en la mayoría de los casos de una célula de medición inteligente para poder resolver las siguientes tareas:

- Medición automática inteligente mediante el uso de la metrología CNC
- Programación CNC *off-line* (fuera de línea) para los instrumentos metrológicos automatizados
- Cambio automático de piezas
- Cambio automático de sondas y sensores
- Evaluación automatizada de los resultados de medición

La solución propuesta puede ser vista como un paso más para avanzar con el objetivo de lograr la fabricación inteligente y económica de productos MFPs, control y gestión de la calidad en entornos MFIF, especialmente orientada también a PYMES, de forma de organizar y estar preparado para soluciones flexibles de todo tipo de tareas metrológicas en un entorno de fabricación automatizado inteligente.

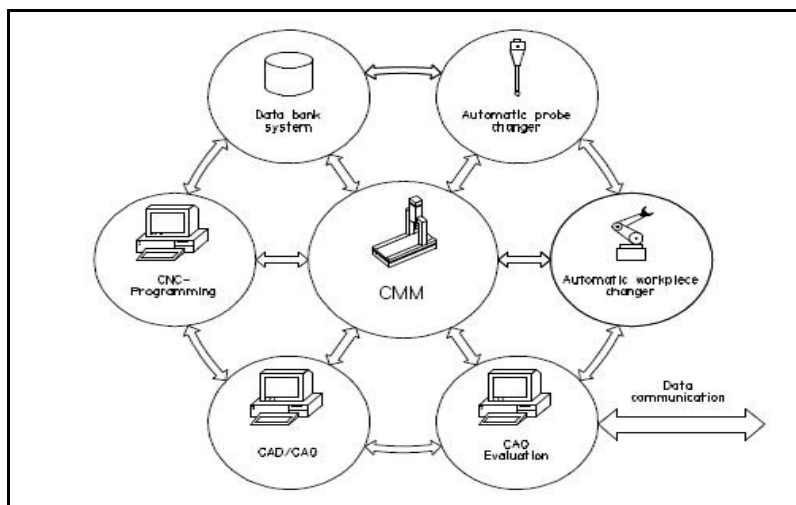


Figura 4 – Configuración de una celda de aseguramiento de la calidad inteligente

7 SISTEMA GLOBAL-MUNDIAL CONCURRENTE DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

El establecimiento de un canal de información mundial-global para el intercambio simultáneo en línea de los datos de producción, de colaboración en el diseño, el aseguramiento de calidad y todos los procesos de producción, de forma de generar la comunicación simultánea de todos los conocimientos de sistematización del diseño, de fabricación y aseguramiento de la calidad de la producción inteligente, y interactuar con proveedores y clientes en todo el mundo, se construye e incrementará como se dijo paulatinamente en base a pasos concretos sucesivos.

En la Figura 4 se describe un ejemplo de un caso basado en enlace a Internet. A través de la conexión mundial el proceso de aseguramiento de la calidad puede ser implementado, desde la fase del CAD en forma sistematizada incluyendo la programación y simulación de procesos en los que se coopera con los clientes y proveedores. El diseño, la planificación del aseguramiento de la calidad y la programación del aseguramiento de la calidad se puede realizar en un lugar físico del globo terráqueo y los procesos de simulación vinculados al aseguramiento de la calidad, mediciones y evaluación, se pueden realizar en otro lugar físico de la aldea global como procesos concurrentes simultáneos.

8 MFI-MR: ROBOT INTELIGENTE MULTIFUNCIÓN ESPECIALIZADO EN TAREAS METROLÓGICAS AUTÓNOMAS

Bajo la filosofía de organización de la producción descripta (MFIF), estamos trabajando como equipo transdisciplinario, en la investigación y el desarrollo de un robot autónomo móvil (MFI-MR) para tareas específicas de control de calidad y recopilación automática de

datos para el módulo CEP-SPC (Control Estadístico de Procesos - *Statistical Process Control*).

MFI-MR es un robot multifunción inteligente para tareas en Metrología (Figura 5a y 5b). Es una unidad autónoma, que puede moverse por sí mismo trasladándose en el entorno de la fábrica de una máquina a otra, tomar una pieza de la línea de producción, chequear las principales variables constructivas y transferir de los resultados de las medidas y su evaluación al sistema de aseguramiento de calidad. El MFI-MR está compuesta por un brazo robótico con seis grados de libertad, cambio automático de pinzas-gripper de forma de poder tomar en forma dinámica y flexible tanto las diversas piezas de producción generadas en cada máquina como así también los diferentes instrumentos específicos de metrología que componen su dotación propia o lo esperan en la máquina al momento que se acopla y realiza la tarea. El brazo robótico antropomórfico de 6 grados y medio de libertad, está montado sobre una plataforma que permite el traslado autónomo rodando o caminando de una máquina a otra, modifica su altura total durante el desplazamiento entre máquinas para colocar su centro de gravedad general en una posición que le confiere alta estabilidad. Luego de trasladarse al área de producción específica, se incorpora para que su mesa de operaciones coincida con la máquina de producción, se fija temporalmente definiendo unívocamente su posición relativa máquina productiva $\langle \rangle$MFI-MR y realiza las tareas de control de calidad previstas en una planificación-programación dinámica y actualizada en tiempo real.

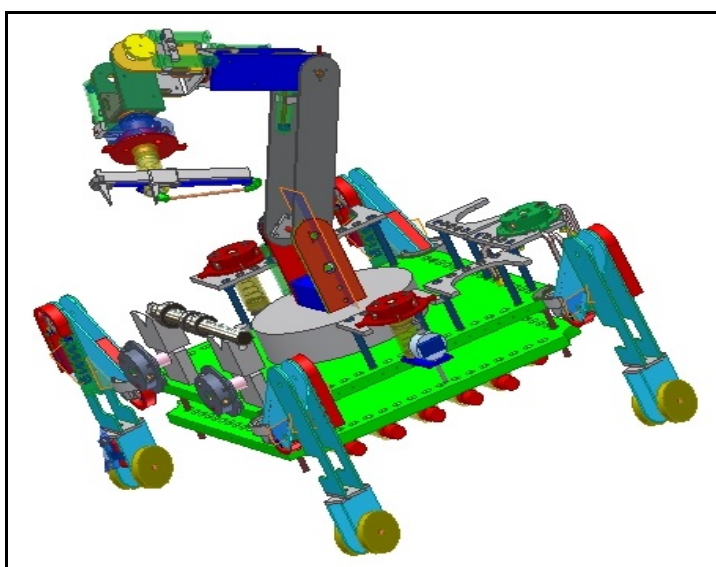


Figura 5a – MFI-MR Robot Inteligente Multifunción para tareas metrológicas en posición de traslado autónomo

El Robot MFI-MR está equipado con su propia inteligencia que le confiere autonomía de trabajo y vinculación vía *WI-FI* a *Internet*, para que pueda operar en un entorno de telepresencia y teleoperación, tanto desde una posición local o como global.

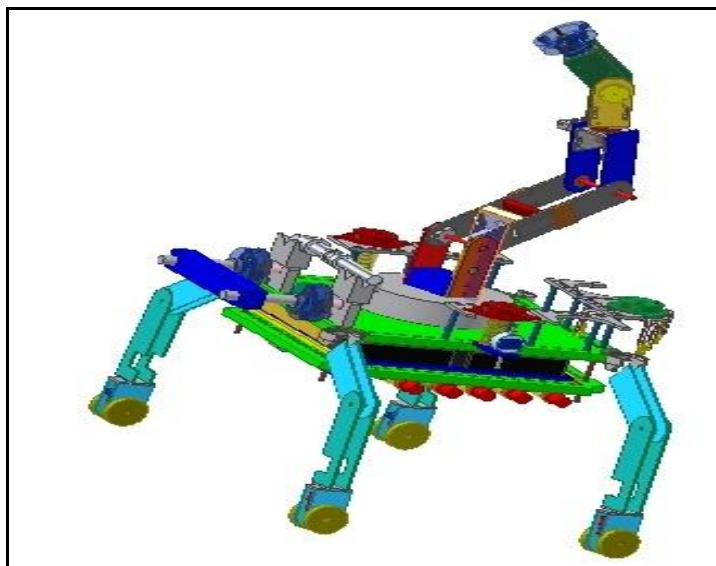


Figura 5b – MFI-MR incorporado previo acoplamiento al puesto de control Metrológico

De esta manera, también se crea una nueva forma en la relación cliente - proveedor y de sus sistemas de calidad-entrelazados, cuya evolución en las etapas históricas clásicas difundidas al momento son esquemáticamente graficadas en la Tabla 1.

Tabla 1 – Evolución Histórica

	Proveedor		Cliente		Evolución Histórica
	Producción	Inspección	Inspección	Producción	
1	Prod.	-----	-----	Prod.	Evolución Histórica
2	Prod.(Insp.)	-----	Insp.100%	Insp. +Prod.	
3	Prod.	Insp.100%	Insp.100%	Prod.	
4	Prod.	Insp.100%	Insp.Muestra	Prod.	
5	Prod.	Insp.100%	Verificación	Prod.	
6	Prod.	Insp.Muestra	Verificación	Prod.	
7	Prod. +CEP	Insp. Muestra	Verificación (QM)	Prod.	
8	Prod. +CEP	Verificación	-----	Prod. (QA)	

←----- Prevención -----→

Partiendo de un sistema de control estadístico de procesos CEP clásico implementado vía operador humano, la evolución de punta que se reconoce en estos últimos años, podemos ver que cada vez más procesos de control de calidad incluyen unidades de metrología y captura de variables de productos, en procesos automáticos, incorporando equipamiento complementario específico, como partes de la máquina y puesto-celda de transformación. La relación proveedor-cliente y la Tabla 2 que esquemáticamente representa la evolución histórica, incorpora un renglón adicional que grafica un modelo superador.

Tabla 2 – Desarrollo de punta en la actualidad

Proveedor		Cliente	
Prod.	Insp.	Insp.	Prod.

	Proveedor		Cliente	
9	Prod.	Automática 100%	(QA)	QA

Como se observa que el tiempo necesario para tarea metrológica sobre las distintas variables de control en la pieza fabricada, en términos normales es significativamente menor que el tiempo para la mecanización y conformación geométrica de esas mismas piezas, el concepto propuesto con el proyecto MFI-MR, es generar una herramienta robotizada para la aplicación de un control volante de forma de capturar la información relevante de varias máquinas, procesarlas e incorporarlas al sistema de aseguramiento de la calidad. Inclusive en técnicas CEP (control estadístico de proceso) no se controlan el 100% de las piezas producidas si no se toman en tiempo real muestras, en cuyo caso el robot metrológico universal autónomo MFI-MR puede cubrir un número mucho mayor de puestos en un entorno de alta flexibilidad. La Tabla 3 que esquemáticamente representa la evolución histórica, se prolonga según esta propuesta incorporando un nuevo renglón (DURAKBASA et al., 2009)

Tabla 3 – Desarrollo Propuesto

	Proveedor		Cliente	
	Prod.	Insp.	Insp.	Prod.
10	Prod.	Medición Robot + CEP	(QA)	QA

The diagram shows a box labeled 'Telepresencia' with four arrows pointing outwards. Two arrows point upwards towards the 'Medición Robot + CEP' cell in the table above, and two arrows point downwards from the same cell. This indicates a bidirectional flow of information between the telepresence system and the proposed measurement process.

La teleoperación y tele presencia en tiempo real por parte del cliente o la PYME asociada, pone también en un nuevo plano la objetividad del control estadístico, su dinámica al extraer muestras representativas, y genera la posibilidad de variar puntos-puestos y variables de control en forma dinámica a criterio del cliente generando la posibilidad de tener tendencias precisas y objetivas como cliente (cliente interno) en forma más rápida, ágil y anticipada.

9 DESAFÍOS DE LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO DEL MFI-MR EN EL MARCO DE UN ENTORNO MFIF

Las dificultades de investigación y el desarrollo de este proyecto mecatrónico transdisciplinario (MFI-MR) son múltiples y exceden ampliamente las problemáticas clásicas de la robótica que en términos normales se concentran en las disciplinas de la mecánica, la electrónica y la informática y su interacción. Tecnologías de las llamadas duras con tecnologías de las llamadas blandas referidas a estrategias industriales de organización se combinan y retroalimentan en este caso, requiriéndose inclusive considerar para un análisis y

proyecto racional los cambios en los paradigmas culturales del medio en el que se implementará este concepto de unidad MFI-MR y su vínculo al entorno MFIF orientado a PYMES en fuerte cooperación.

Para esta tarea transdisciplinaria, el plan global del proyecto está soportado por una red interuniversitaria y una serie de grupos de investigadores-diseñadores, que operando con independencia sobre su sub-problema específico, se integran en una forma coherente de equipos pequeños aportando sus especialidades, haciendo ingeniería concurrente en idéntico modelo organizativo al MFIF propuesto.

A modo de ejemplo en el presente trabajo describiremos en siguientes párrafos tres problemáticas asociadas en el campo de:

- la Meca-Mecatrónica;
- el movimiento autónomo del robot MFI-MR en el espacio físico del área de producción industrial de la PYMES y;
- la problemática de donde reside la inteligencia distribuida-interactiva.

9.1 Diseños Meca-Mecatrónicos

Los problemas MECA-Mecatrónicos implican resolver en términos de estructura, servoaccionamientos, actuadores especiales, intercambiabilidad de grippers de trabajo y portabilidad de instrumental metrológico flexible, en una unidad Robótica de más de 20 grados de libertad, en un tamaño, masa inercial, potencia y consumo energético acorde con un robot autónomo flexible como el MFI-MR caracterizado. En particular se prevén diferentes mecanismos de innovación entre los que se destacan los sistemas PMPY (solicitud de patente TU-Wien-Austria) y el sistema Reductor Planetario (solicitud de patente INPI-Argentina) ambos desarrollados específicamente para este proyecto. Trabajar con recursos de investigación - desarrollo acotados, implica potenciar la ingeniería propia para reducir costos de insumos, y genera una serie de sub-productos de ingeniería que encuadran en la filosofía MFPs.

9.2 El Movimiento Autónomo del Robot MFI-MR en el Espacio Físico del Área de Producción Industrial de las PYMES

El desarrollo del sistema de movimiento autónomo del robot MFI-MR en el espacio físico del área producción industrial de la PYMES, conlleva el problema de la localización durante la navegación entre máquinas de producción específica, es decir movimientos de

traslación entre puestos-estaciones de trabajo para luego realizar la tareas propias de control-medición. La misma se resolverá con la combinación de distintas tecnologías de sensores, que en el caso MFI-MR integrará operatoria del tipo cenital y para resolver los problemas de demora que aparecen por la latencia del canal de comunicaciones, los sensores se localizan sobre el robot móvil MFI-MR. La teleoperación en este caso solo se realiza mediante macro-comandos de alto nivel que establece objetivos globales, y el robot móvil MFI-MR resuelve la navegación en forma local y autónoma empleando sensores especializados (odometría, cámara de vídeo, sensores ultrasónicos, scanner laser) que actuaran en cada una de las fases de traslación, a saber: despegue del puesto inicial, navegación interpuesto (CARIMATTO; VERRASTRO; GÓMEZ, 2009), aproximación y anclaje al nuevo puesto (DI MATTEO et al., 2010).

La arquitectura electrónica-informática del robot móvil MFI-MR es de tipo de control distribuido (ALBERTINO et al., 2010), montado sobre una red *modbus* que permite la reconfiguración tanto de sensores como de los actuadores de cada uno de los servos que controlan los múltiples grados de libertad o de los otros actuadores que forman parte del robot MFI-MR autónomo. El master de la red es flotante y puede localizarse sobre el robot o en forma remota. La información colectada se almacena en forma local y se envía en forma inalámbrica (local) durante la navegación entre puestos. También se incluye la operatoria de intercambio informático en un puesto específico, de forma de producir intercambio de la información relevada en la operación metrológica y/o actualización de objetivos - macro órdenes, evitando los inconvenientes de pérdida del enlace en zonas de sombra *WI-FI* durante la traslación autónoma. Durante la navegación y / o la operación del brazo metrológico en el puesto los lazos de control de cada articulación-grado de libertad, se adaptan a los cambios de pose, macro-geometría dinámica del robot MFI-MR (VERRASTRO et al., 2007).

9.3 El Lugar de Residencia de la Inteligencia Superior

Otro problema no menor a resolver, es el lugar de residencia de la inteligencia superior (unidad de programas, bases de datos y estrategias CEP-MFIF). Una estructura de la inteligencia distribuida y las posibilidades del canal de comunicación para las transacciones en tiempo real para la teleoperación y telepresencia no generan una solución única sino presentan múltiples combinaciones y alternativas que se analizan y perfeccionan en el marco del proyecto y se incorporaran en un modelo de redundancias.

9.3.1 Tele Operación Bilateral

El problema más importante de los sistemas de teleoperación bilateral es causado por el retardo variable originado en el tiempo en que la información viaja en la red pública Internet. La persona que actúa como operador o el sistema experto superior que lo reemplaza, percibe la interacción entre el robot y el medio ambiente ubicado en forma lejana en la aldea global (objetos, personas, máquinas otros robots, etc.) en algún momento temporal posterior al real y los comandos enviados al robot MFI-MR también se reciben con algún tipo de retardo. Potencia el retardo el hecho que la demora de transferencia de la información en la red de redes internet no es constante y en general depende de factores externos a los influenciados dinámicamente en el momento de la tele operación por los operadores directos del entorno MFIF. Esta realidad hace que la traslación y conducción segura de un robot móvil a la distancia vía internet se constituya en un problema que aumenta su grado de complejidad.

La Figura 6 muestra un esquema general que representa un sistema de teleoperación de un robot móvil. Incluye un sitio local, donde se halla un operador humano o un sistema computarizado experto equivalente, genera macro comandos y recibe información a través de un sistema de interfaz como por ejemplo un PC, un sitio remoto, donde un robot móvil MFI-MR interactúa con el mundo físico, e Internet-pública opera en la unión ambos sitios.

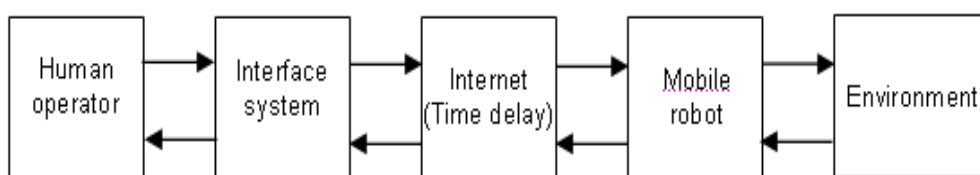


Figura 6 – Diagrama de bloques para una teleoperación de un robot móvil

La presencia de retardo puede provocar inestabilidad o mal desempeño del MFI-MR como un todo, por lo que el desarrollo de esta problemática general de la tele operación sobre la aplicación específica del MFI-MR con los especialistas universitarios especializados (SLAWIŃSKI; MUT, 2008; FU; SLAWIŃSKI; MUT, 2007) también genera una motivación bidireccional adicional sobre los equipos de trabajo que interactúan en la interfaz y sobre toda la red transdisciplinaria interuniversitaria en general.

9.4 Integración Transdisciplinaria

El Robot MFI-MR en el contexto descrito no se proyecta como un fin en sí mismo sino como un medio para (herramienta), potenciar el concepto organizativo de informática industrial MFIF en general, y la integración cooperativa entre PYMES. Los diseños

específicos integrados en la red interuniversitaria y sus especialistas particulares son mucho más que los saberes e investigaciones particulares, ya que no solo se complementan sino también se retroalimentan dinámicamente. En el desarrollo se aplican todas las tecnologías propias de sistemas MFIF como son las tecnologías CAx y entornos de simulación – emulación para definir comportamientos, fuerzas, resistencias, potencias de las partes como así también reglas de control embebidas en los distintos módulos del sistema computarizado distribuido. Sub-Sistema informático CAE (*Computer Aided Engineering*) incluye un poderoso simulador tridimensional que retroalimenta la ingeniería producida en todo los sub-equipos.

10 CONCLUSIONES, PERSPECTIVAS Y DESARROLLO FUTURO

En esta contribución, las asociaciones cooperativas entre fábricas, así como el modelo de colaboración entre PYMES se han presentado como un concepto innovador y un modelo para las empresas de fabricación pensadas para satisfacer las demandas de los clientes e incrementar la rentabilidad. Este concepto puede ser utilizado con éxito para potenciar una fabricación ágil y óptima sobre la base de las cooperaciones locales o internacionales globales entre pequeños emprendimientos (PYMES).

El desarrollo en las áreas "MFI-MR" y "tele operación bilateral" será una importante contribución al progreso en esta dirección desde los aspectos tecnológicos, que deberá además estar acompañado de cambios culturales y en los paradigmas establecidos en todos los recursos humanos, desde las direcciones de las PYMES alcanzando directa o indirectamente a todos sus integrantes. La experiencia muestra que los paradigmas culturales se transforman hoy en día en forma más lenta que las potencialidades que ofrece la técnica actual. Los propios grupos de diseñadores-investigadores que intervienen cooperativamente en el diseño deben romper no solo paradigmas tecnológicos preexistentes en su quehacer como ingenieros, sino también comprender y modificar la formación cultural y modelos establecidos de cooperación, desarrollo lineal en fases sucesivas pasando a programación de actividades en un concepto de ingeniería concurrente.

En ese marco, las conclusiones principales que se proyectan desde una visión de "informática industrial" es que la automatización/autonomación robótica en un esquema de telepresencia, ya es una tecnología madura también en el entorno de pequeñas y medianas empresas (PYMES), cuya implementación se deberá analizar caso a caso sobre la base de los beneficios logrables y consideraciones sobre el recupero de la inversión. En especial en

PYMES organizadas en *clusters*, aprovechar la flexibilidad propia de ese tipo de organizaciones en fuerte complemento con tecnologías del tipo capital intensivo, difícil de adquirir en su globalidad por cada PYME integrante, pero más fácil de implementar en el *cluster*, genera posibilidades prácticamente ilimitadas para los participantes asociados distribuidos en la aldea global.

Los enormes avances en tecnologías duras, su reducción de costos y accesibilidad a mayor número de organizaciones, se deberá complementar con cambios profundos en la cultura del trabajo. A modo de ejemplo ya no se generan cambios paradigmáticos en el “como” se trabaja sino la telepresencia implica cambios radicales también en el “donde” se trabaja (incluido el “como” se supervisa, programa controla, etc. el trabajo del equipo)

La experiencia no solo en formulación teórica sino complementada por un sinnúmero de experiencias prácticas realizada por el equipo de investigadores en MFIF, telepresencia y tecnologías Cax (*Computer Aided x*) permite visualizar que sin negar las posibilidades de TIC las mismas son solo herramientas que favorecerán las comunicaciones humanas en la organización sólo si la cultura de la misma está preparada. La tecnología en este caso tampoco es un elemento mágico sino una herramienta. Al igual que una de las primeras herramientas creadas por el hombre “el martillo” se puede usar para “construir una silla” o “destruir una silla”, “construir una casa de protección para un ser humano” o “partirle la cabeza” (BAUER, 2008).

En ese sentido creemos que las TIC, Cax y/o robótica se deben implementar con profundo debate y acuerdo, sin dejar de lado aspectos éticos.

REFERENCIAS

ALBERINO, Sergio; FOLINO, Pablo; CARMONA, Fernando; DE BIASE, Damián, DA PONTE, Elias; TOZZI, Leandro. Plataforma móvil con brazo robótico (PMIR). **In:** SIAR 2010.

BAUER, J. M. La Telepresencia, el teletrabajo en el marco de sistemas CIM (Computer integrated Manufacturing). **In:** Congreso INST- Viena, KCTOS Knowledge, Creativity and Transformations of Societies, ISBN: 978-3-9501947, 2008.

CARIMATTO, A. J.; VERRASTRO, C.; GÓMEZ, J. C. Mapeo y navegación por nodos de potencial para robótica móvil. **In:** XIII Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control 9, Rosario, Argentina, 2009.

DI MATTEO, Leandro; VERRASTRO, Ramiro; CIGNOLI, Rodolfo, BERTACCHINI, Ignacio, PARDINI, Alexis Peppe. 3D Mapping: Mapeo tridimensional de la topología del entorno mediante sistema de visión artificial estereoscópica. **In:** SIAR, 2010.

DURAKBASA M. N.; BAUER J. M.; MUT, V.; OSANNA, P. H. The quality management and exchange of knowledge and innovation un environments of collaborating small and medium sized enterprises. **In:** 6th International Conference on remote Engineering and Virtual Instrumentation, Bridgeport USA, 2009.

DURAKBASA, N. M.; OSANNA, P. H. The role of co-ordinate metrology in the hierarchical structure of metrology and the system for measurement instruments confirmation. **In:** Proceedings: 5th International Scientific Conference Coordinate, Measuring Machines, Bielsko-Biala, PL, p. 55-62, 2002.

FU, S.; RAJA, J. Internet based roundness and cylindricity analysis. **In:** IMEKO Proceedings, v. VIII, Editors: DURAKBASA, M. N.; OSANNA, P.H, AFJEHI-SADAT, A. Wien: Austauschbau und Messtechnik, ISBN 3-901888-10-1, 2000, p. 83-88, 2000.

FU, S.; RAJA, J.; SLAWIŃSKI, E.; MUT, V. Control for Teleoperation of Mobile Robots. **In:** Proceeding of the 3rd International Conference on Integrated Modeling and Analysis in Applied Control and Automation, IMAACA, v. 1, p. 17-22, ISBN: 978-2-9520712-7-7, 2007.

OSANNA, P. H.; SI, L. Multi-Functions Integrated Factory MFIF: a model of the future enterprise. **In:** Conference Proceedings of Internet Device Builder Conference, Sta. Clara, May, 2000, 6p.

SI, L.; OSANNA, P. H. Multi-functions integrated factory. **In:** Proceedings of 11th ISPE/IEEE/IFAC International Conference on CARS&FOF'95, Colombia, p. 578-586, 1995.

SLAWIŃSKI, E.; MUT, V. Transparency in time for teleoperation systems. **In:** Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'08) organizada por IEEE Robotics and Automation Society. Pasadena, California, USA, 2008.

VERRASTRO C.; ALBERINO, S.; FOLINO, P, D.; GOMEZ, J. C. **Fast self tuning PID controller specially suited for mini robots.** AMIRE Autonomous Minirobots for Research and Edutainment, Buenos Aires, ISBN 978-3-939350-35-4, Oct-2007.

Originals recebidos em: 27/09/11

Aceito para publicação em: 10/04/12